

ВЛИЯНИЕ РАЗРЯДОВ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА НА ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ИНСТАЛЛИРОВАННОЕ ВО ВСТРОЕННУЮ *flash*-ПАМЯТЬ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

ПИСКУН Г.А., АЛЕКСЕЕВ В.Ф.

(электроника)

Рассматривается задача оценки влияния электростатических разрядов (ЭСР) на программное обеспечение (ПО), инсталлированное во встроенную *flash*-память микроконтроллеров (МК). Предложена методика проведения испытания *flash*-памяти МК на чувствительность к ЭСР, в котором учитываются ухудшения функциональных свойств МК при определенных значениях напряжения разряда. Проведены эксперименты подтверждающие адекватность разработанной методики.

1. Введение

Обширная номенклатура и богатые функциональные возможности современных МК создают разработчикам радиоэлектронных средств (РЭС) хорошие условия для проектирования конкурентоспособной аппаратуры различного назначения. Однако осуществить эффективную защиту МК от внешних воздействий, особенно от такого дестабилизирующего воздействия как ЭСР, достаточно сложно. Это обусловлено высокой степенью микроминиатюризации компонентов, входящих в состав полупроводникового кристалла МК, что в свою очередь влечет за собой повышение чувствительности к действию разрядов статического электричества. В связи с этим, особое значение приобретает проблема обеспечения устойчивости функциональных характеристик МК к воздействию ЭСР. Наиболее перспективными исследованиями, направленными на решение данной проблемы являются изыскания в области определения критических (пороговых) значений напряжений воздействующих разрядов статического электричества. Но все же в применяемых методах недостаточное внимание уделяется процессам отказов, протекающим в таком наиболее значимом функциональном блоке МК, как *flash*-память. В свою очередь, это значительно осложняет проведение технической диагностики функционально сложной аппаратуры, построенной на базе МК, т.к. отказы могут происходить не только в части повреждений полупроводникового кристалла, но и в части программного обеспечения, инсталлированного во встроенную *flash*-память МК [1 – 5].

Актуальность и необходимость проведения исследований в данной области определяется отсутствием адекватных моделей технической диагностики и алгоритмов оценки МК на устойчивость к воздействию ЭСР, а также требованиями потребителей и разработчиков РЭС на базе МК к их высокому качеству [6, 7].

Целью данной работы является разработка методики проведения испытания МК с инсталлированным во встроенную *flash*-память программным обеспечением к воздействию ЭСР, которая позволит выявить значения напряжений, при которых начинают происходить изменения в ПО.

2. Влияние окружающей обстановки на формирование электростатического заряда

Статическая электризация охватывает все процессы, ведущие к образованию и разделению положительных и отрицательных электрических зарядов в результате механической деформации, имеющей место при столкновении или контакте поверхностей двух твердых тел, поверхностей твердого тела и жидкости, а также при разрыве или отделении поверхностей твердых тел или жидкости газами или каким-либо другим агентом, в частности, ионизированными газами [8]. Сюда следует отнести такие процессы, как контактная электризация, явления трибоэлектричества, электризация при разбрызгивании, электризация порошков и во время грозы.

Авторами [9, 10] было установлено, что около 70 % повреждений электронных компонентов, на всех этапах работы (рис. 1) с ними, происходит по вине оператора.

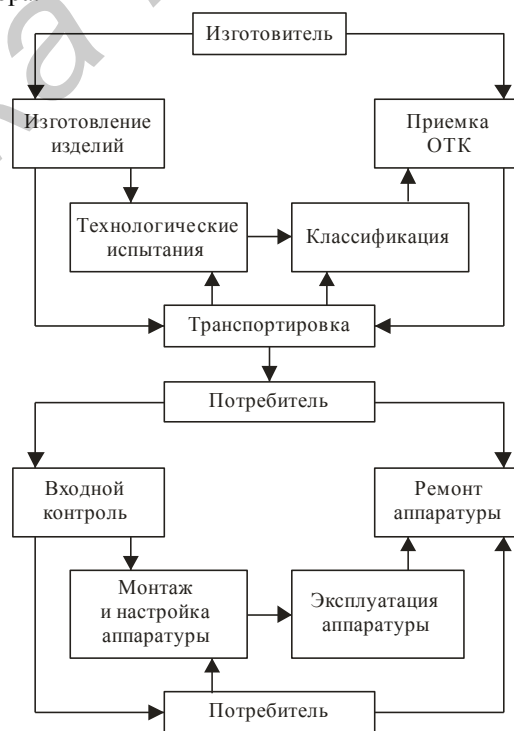


Рис. 1. Схема этапов, где возможно воздействие ЭСР на МК

При выполнении оператором тех или иных операций, на его теле может накапливаться статическое электричество до нескольких киловольт [11], генерируемое следующими механизмами [8, 12]:

а) *трибоэлектрическим*. При соприкосновении и разделении двух объектов один всегда заряжается положительно, другой – отрицательно, например: контакт обуви с полом при ходьбе приводит к образованию статического потенциала на идущем работнике [13].

б) *индукционным*. При перемещении заряженных объектов вблизи незаряженного, в последнем генерируется статический заряд с противоположным знаком и, как следствие, возникает индукционный ток. Ярким примером индукционного механизма электризации является случай, когда прикосновение рукой, несущей высокий заряд, к корпусу чувствительной микросхемы происходит разряд. Стоит отметить, что для повреждения кристалла индукционными токами не обязательно даже прикасаться рукой непосредственно к выводам корпуса микросхемы.

в) *емкостным*. Заряд есть произведение напряжения на емкость, поэтому при постоянной величине заряда уменьшение емкости влечет рост потенциалов разъемных поверхностей. Данный механизм имеет место при размотке рулона полиэтилена на упаковочном столе [14].

3. Методика проведения эксперимента

Авторами были проведены испытания *flash*-памяти МК на чувствительность к ЭСР по «*модели человеческого тела*» [15], которые учитывали результаты, высказанные в [3, 16 – 18], а также, условия соответствующие требованиям [15 – 18] в области климатических условий (испытания проводились при нормальных климатических условиях) и электромагнитной обстановки (электромагнитная обстановка не влияла на результаты испытаний).

Проведение испытания по определению допустимых значений напряжения ЭСР для *flash*-памяти МК типа AT89C51RC [19] строилось на основании реализации следующих задач:

а) формирование партий МК по три штуки в каждой. Для проведения испытания *flash*-памяти МК на чувствительность к ЭСР был использован МК фирмы Atmel типа AT89C51RC. Данный выбор обусловлен тем, что набор аппаратных средств и совокупность реализуемых функций (таблица 1) делают данный МК эффективным средством сбора, обработки информации и управления объектами [20] и широко используется разработчиками современных РЭС.

Таблица 1

Номер контактного вывода МК	Назначение контактного вывода МК
Port 0 (P0.0 – P0.7)	Двухнаправленный программируемый 8-разрядный параллельный порт ввода/вывода с возможностью установки в высокоимпедансное состояние.
Port 1 (P1.0 – P1.7)	Двухнаправленный 8-разрядный параллельный порт ввода/вывода.
Port 2 (P2.0 – P2.7)	
Port 3 (P3.0 – P3.7)	

Выбор количества МК в партии обусловлено финансовой стороной.

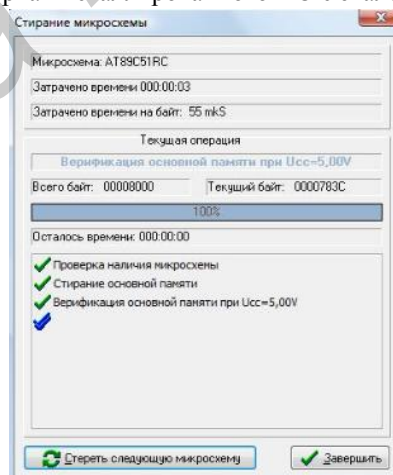
б) анализ программного обеспечения МК до воздействия ЭСР.

Для анализа ПО, установленного во *flash*-память МК, использовался персональный компьютер с подключенным к нему универсальным профессиональным программатором-тестером ChipStar-Turbo [21], предназначенный для программирования широкого спектра современных микросхем. Данное оборудование работает через «Программу управления программатором», поставляемую производителем в комплекте.

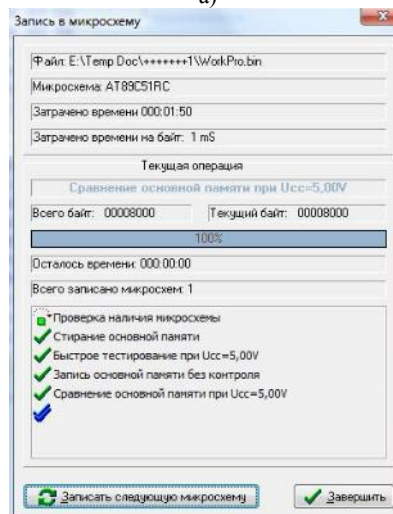
Для обеспечения эффективной работы ПО, установленного во *flash*-память МК, первоначально необходимо осуществить стирание МК с помощью «Программы управления программатором» (рис. 2, а), дабы избежать каких-либо накладок ПО. Данная операция осуществляется в среднем за 3 – 4 с.

После осуществления стирания *flash*-памяти МК, записываем эталонное ПО, предоставленное разработчиком (рис. 2, б). В случае если МК работоспособен, то данная операция происходит на протяжении 1 мин. 50 с.

Для подтверждения правильности проделанных ранее операций (стирания МК и установка ПО) производится сверка установленного ПО с эталонным.



а)



б)

Рис. 2. а) стирание *flash*-памяти МК перед осуществлением записи; б) установка ПО во *flash*-память МК;

Таким образом, на основании рис. 2 (а - б), убеждаемся в том, что *flash*-память испытуемых МК не содержит повреждений. Следует отметить, что данные операции были проделаны со всеми МК выборки, на которые, в дальнейшем, было произведено воздействие ЭСР.

в) осуществление контактных разрядов на выводы МК с расположением разрядного наконечника генератора ЭСР перпендикулярно к поверхности контактных выводов, что позволит улучшить повторяемость результатов испытаний [16];

Для генерации ЭСР был использован симулятор ЭСР – ESD 3000 [22], так как данное оборудование обладает возможностью генерации импульсов необходимых напряжений, полярностей и соответствующих эмпоре разрядного тока, которые полностью соответствуют требованиям [15 – 18].

На каждый контактный вывод МК (таблица 1) производилось попеременно по 10 одиночных разрядов разной полярности с интервалом, между последовательными одиночными разрядами, равным 1 с. Длительность импульса составляет $0,7 \div 1$ нс [16].

Первоначальное значение напряжения ЭСР (250 В) выбрано в соответствии с методом 502-1.1а «испытание микросхем по определению допустимых значений статического электричества по модели человеческого тела» [15]. Последующие значения напряжений воздействующих ЭСР составляли: 500 В, 1 кВ, 2 кВ и 4 кВ. При данных значениях никаких изменений не было выявлено.

Дальнейшее значение напряжения воздействующего ЭСР, было взято 6,0 кВ, что обусловлено данными по критическому значению напряжения, приведенному в [19]. Постепенное увеличение на 0,1 кВ вызвано необходимостью получения более точных данных по отказам.

д) анализ ПО, инсталлированного во *flash*-память МК, после воздействия ЭСР.

4. Экспериментальные результаты и их обсуждение

В соответствии с методикой, приведенной выше, было произведено тестирование исследуемых МК на наличие ошибок до воздействия ЭСР. Полученные результаты приведены на рис. 1.

Комбинация контактных выводов МК при подаче ЭСР является постоянной для всех МК партий.

Сгенерированный первый ЭСР, напряжениями с 6,0 кВ по 6,2 кВ, ни каким образом не повлиял на МК и ПО, инсталлированное во *flash*-память.

При ЭСР, напряжением 6,3 кВ, в ПО, инсталлированное во *flash*-память МК, нарушений выявлено не было, однако, при попытке осуществить перезапись ПО была выявленная ошибка, подтверждающая возникновение скрытого дефекта (рис. 3) [23].

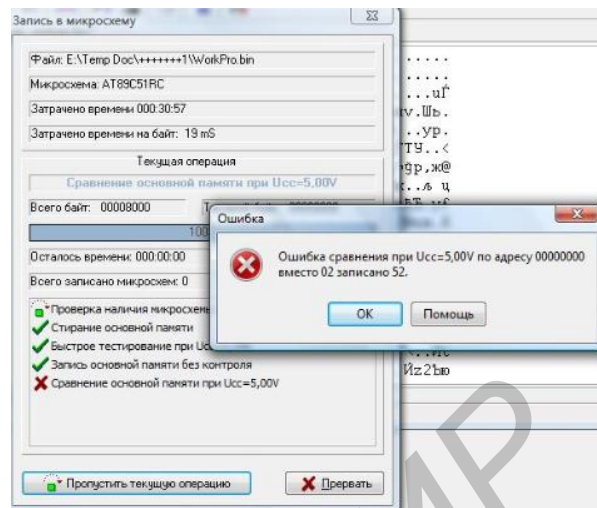


Рис. 3. Ошибка, выявленная при инсталляции ПО во *flash*-память МК, после воздействия ЭСР напряжением 6,3 кВ

На рис. 3 можно увидеть, что время инсталляции ПО во *flash*-память МК увеличилась с 1 мин. 50 с. до 30 мин. 57 с. При сравнении ПО при проверочном напряжении ($U_{cc} = 5,00$ В) выявлено несоответствие записей.

Последующее повышение напряжения ЭСР до 6,4 кВ привело к тому, что ПО, инсталлированное во *flash*-память МК, претерпело ряд существенных изменений. Это было выявлено при осуществлении сверки инсталлированного ПО с эталонным (рис. 4).

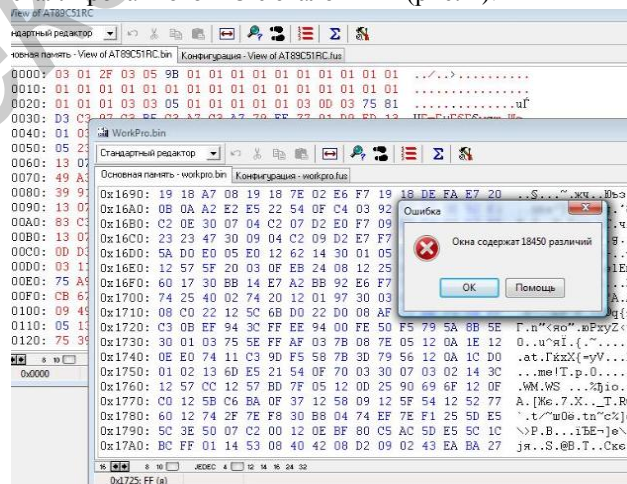


Рис. 4. Ошибка, выявленная при сравнении эталонного ПО с ПО, инсталлированным во *flash*-память МК, после воздействия ЭСР напряжением 6,4 кВ

При выявлении причин отказов при испытании МК на чувствительность к ЭСР, учитывалась возможность разрушения разрядным импульсом отдельных элементов их конструкции.

Анализ полученных данных показывает, что ЭСР разноименных полярностей воздействуют на МК одного типа по-разному. На основании методики проведения расчета вероятности возникновения отказа в выборке [24], было установлено, что последовательная подача импульсов накопленного заряда статического электричества разноименных полярностей, эквивалентно-

го 6,4 кВ, приведет к возникновению повреждения в ПО инсталлированного во *flash*-памяти МК.

Можно предложить следующую последовательность операций при проведении испытаний (таблица 2):

Таблица 2

№ операции	Описание операции
1	Выбор типа МК. Выбор количества партий МК и штук в партии.
2	Стирание ПО, инсталлированного во <i>flash</i> -память МК. Если в партии обнаружен МК не соответствующий требованиям ТУ то необходимо его исключить из партии и перевыполнить операцию 1. В случае, если МК соответствуют требованиям ТУ, продолжаем выполнение дальнейших операций.
3	Осуществление контактного разряда на выводы МК в соответствии с требованиями ТУ.
4	Сверка ПО, инсталлированного во <i>flash</i> -память МК, с эталонным. При отсутствии МК не соответствующих требованиям ТУ, необходимо осуществить дальнейшее постепенное увеличение напряжения ЭСР по п.5. Если в партии обнаружен хотя бы один МК не соответствующий требованиям ТУ, то необходимо прекратить дальнейшее исследование с обозначением полученного напряжения как критического для исследуемого типа МК.
5	Постепенное увеличение напряжения ЭСР.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что впервые установлено, что при значении напряжения воздействующего ЭСР эквивалентном 6,3 кВ (меньше критического на 3,08 %) в инсталлированном во встроенную *flash*-память ПО ошибки возникают у 7,69 % МК, а при напряжении 6,4 кВ (меньше критического на 1,56 %) 95,44 % МК не выполняют своих запрограммированных функций.

Заключение

В результате проведенных экспериментальных исследований следует:

- а) в соответствии с рассмотренной методикой экспериментально проверено воздействие ЭСР на *flash*-память МК типа AT89C51RC [25, 26];
- б) установлено, что накопленный заряд статического электричества, равный 6,4 кВ, приведет к повреждению 94 % информации хранящейся во *flash*-памяти микроконтроллеров;
- в) предложенная методика проведения испытаний *flash*-память МК на чувствительность к ЭСР позволяет упростить процедуру существующих испытаний и сократить материальные затраты на проведение эксперимента.

Литература: 1. Князев А.Д., Кечиев Л.Н. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом требований ЭМС. – М.: Радио и связь, 1989. – 222 с. 2. Волин М.Л. Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре. – М.: Радио и связь, 1981. – 296 с. 3. Горлов М.И. Электростатические заряды в электронике / М.И. Горлов, А.В. Емельянов, В.И. Плебанович. – Мн.: Бел. наука, 2006. – 295 с. 4. Горлов М.И., Строгонов А.В., Адамян А.Г. Воздействие электростатических разрядов на полупроводниковые изделия. Часть 1 // ChipNews. 2001. № 1. 5. Кириллов В.Ю. Электростатические разряды и излучаемые электромагнитные помехи // Технологии ЭМС. – 2004 – №1 – с. 43 – 46. 6. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике / Пер. с нем. И.П. Кужекина; под ред. Б.К. Максимова. – М.: Энергоатомиздат, 1995 – 295 с. 7. ГОСТ 27.310-95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. 8. Лёб Л. Статическая электризация, перевод с английского, М. – Л., Госэнергоиздат, 1963, 408 с. с черт. 9. Кравченко В.И. Грозозащита радиоэлектронных средств: Справочник. – М.: Радио и связь, 1991. – 264 с. ил. 10. Джозетт Ч.Е. Статическое электричество в электронике: Пер. с англ. – М.: Энергия, 1980. – 136 с., ил. 11. Пискун Г.А. Численный анализ воздействия электростатического разряда на интегральные схемы // Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій «РТ - 2011»: Матеріали 7-ої міжнар. молодіжної наук.-техн. конф., Севастополь 11 – 15 квітня 2011 р. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Севастоп. нац. техн. ун-т; наук. ред. Ю.Б.Гімпілевич. – Севастополь: СевНТУ, 2011. – 479 арк. 12. Казанжи К.К. Статическое электричество. Изд. «Знание». Москва. 1965 – 32 с. 13. Gerri G., De Leo R., Mariani Primiani V. Theoretical and experimental evaluation of electromagnetic fields radiated by ESD // Proceedings of the IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. – Montreal, 2001 – P. 93-97 14. Huang J., Deng Q., Liu F. The study of transient fields generated by typical ESD models // Proceedings of the 4-th International Conferences Application Electrostatic. – 2001. – P.585-588 15. OCT 11 073.013 – 2008 Микросхемы интегральные. Методы испытаний. Методы электрических испытаний. Часть 7 16. СТБ МЭК 61000-4-2-2006 Электромагнитная совместимость Часть 4-2. Методы испытаний и измерения. Испытания на устойчивость к электростатическим разрядам. 17. IEC 61000-4-2:2008 Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-2: Testing and measurement techniques. Electrostatic discharge immunity test. 18. IEC 61340-3-1:2002 Электростатика. Часть 3-1. Методы моделирования электростатических воздействий. Модель человеческого тела (НВМ). Испытания компонентов 19. Datasheet AT89C51RC [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: <http://datasheet.su> 20. Бродин В.Б., Калинин А.В. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики – М.: Издательство ЭКОМ, 2002. – 400 с: илл. 21. Универсальный профессиональный программатор-тестер ChipStar-Turbo [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.chipstar.ru> 22. ESD 3000 System for Contact Discharge up to 30kV [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: <http://www.emc-partner.com> 23. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения 24. Боровиков С. М. Теоретические основы конструирования технологии и надежности. / С. М. Боровиков. – Мн.: ДизайнПРО, 1998. 25. Алексеев, В.Ф. Методика испытания микроконтроллеров на чувствительность к электростатическим разрядам / В.Ф. Алексеев, Н.И.

Силков, Г.А. Пискун, А.Н. Пикулик // Доклады БГУИР. – 2011. – № 5 (59). – С.5-12. 26. Алексеев, В.Ф. Методика оценки устойчивости микроконтроллеров к воздействию разрядов статического электричества при ступенчатом повышении напряжения / В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун // Вестник РГРТУ. – 2012. – № 2 (40). – С.34-40.

Поступила в редакцию 00.00.00

Рецензент: д-р, техн. наук., проф. _____

Алексеев Виктор Федорович, канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры радиоэлектронных средств УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». Научные интересы: температурные эффекты в полупроводниковых приборах при мощных импульсных электрических перегрузках. Адрес: ул. П.Бровки, 6, г. Минск, 220013, Беларусь, Тел.: 8-1037517-2932207. E-mail: alexvikt.minsk@gmail.com

Пискун Геннадий Адамович, аспирант, ассистент кафедры радиоэлектронных средств УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». Научные интересы: устойчивость полупроводниковых приборов к воздействию ЭСР. Адрес: ул. П.Бровки, 6, г. Минск, 220013, Беларусь, Тел.: 8-1037517-2932207. E-mail: piskunbsuir@gmail.com

Реферат

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

Вплив електростатичного розряду на програмний код, інстальований в flash-пам'ять мікроконтролерів / Г.А. Піскун, В.Ф. Алексеев // Радіоелектроніка та інформатика. 2012. № 01. С. 00–00

Проведені експериментальні дослідження по дії електростатичних розрядів на програмний код, інстальований в *flash*-пам'ять мікроконтролерів. Встановлено, що накопичений заряд статичної електрики, рівний 6,4 кВ, приведе до пошкодження 94 % інформації що зберігається в *flash*-пам'яті мікроконтролерів типу AT89C51RC. Запропонована методика проведення випробування *flash*-пам'яті мікроконтролерів на чутливість до електростатичних розрядів.

Табл. 01. Лл. 05. Бібліогр.: 24 назв.

Abstract

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

Influence of electrostatic discharge on code installed to flash-memory microcontroller / G.A. Piskun, V.F. Alexeev // Radioelektronika i informatika. 2012. N 01. P. 000-000.

Features of influence of the electrostatic categories for *flash*-memory of microcontrollers of type AT89C51RC is experimentally investigated. It is established that saved up for-number the static electricity, equal 6,4 кВ, will lead to damage of 94 % of an information stored in *flash*-memory of microcontrollers. The technique of carrying out of test of *flash*-memory of microcontrollers on sensitivity to electrostatic categories is offered.

Tab. 01. Fig. 05. Ref.: 24 items